

情報化施工を用いたシールドトンネル工事の近接施工管理について

On managment of constructing tunnels under an overcrowded area with
a shield machine based on an information-oriented construction

* ** ***

岡田 仁・岡留 孝一・小貫 勝彦

Hitoshi OKADA, Koichi OKADOME and Katsuhiko ONUKI

This report is about the outline of the informaiton-oriented digging system which we have developed now. Digging tunnels under the overcrowded metoropolitan area is often done under hard conditions. Because they must be built close to other subterranean constructions such as subways, telegraph and telephone lines, electric wires, and so on. In such conditions, the main problem which now confronts us is the security of other underground constructions. Therefore, we measured the subsidence of the surrouding ground and other subterranean constructions as we monitored the condition of the tunnel after propelling the machine. And then we developed the system so that the way of construction can be changed immediatelly according to the depth of subsidence predicted earlir after digging.

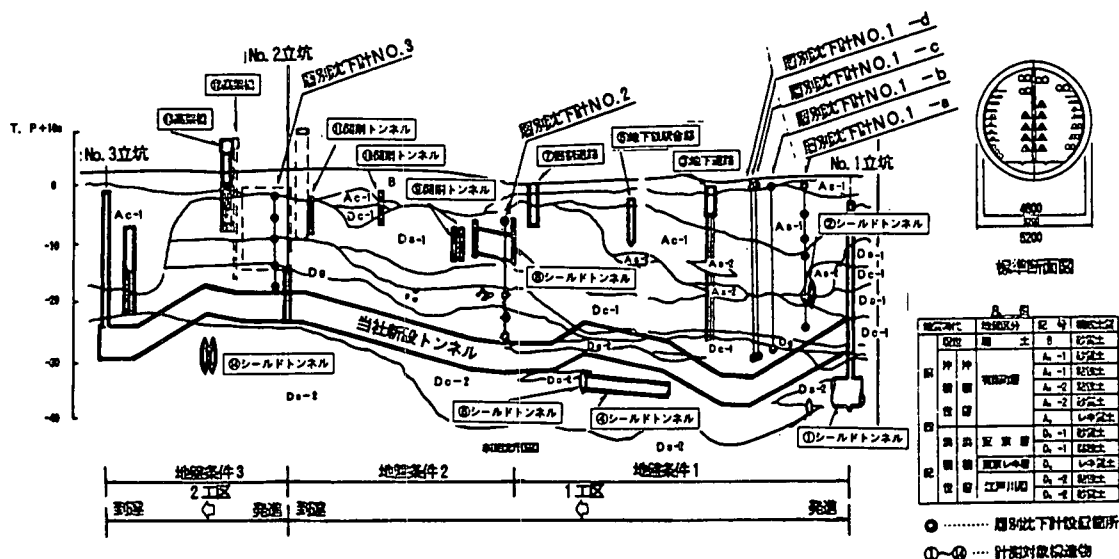
Keyword: digging tunnels with a shield machine, digging tunnel near to other subterranean constructions in other in an over crowded area, information-oriented construction.

1. はじめに

近年、地下構造物の輻輳化により、トンネル建設にあたって近接施工を伴う工事が増加している。東京電力(株)においても、銀座・有楽町地区といった都心部の過密地域で実施した地中送電用トンネルにおけるシールド工事では、JR、地下鉄、NTT等多くの重要構造物に近接する厳しい条件下での施工となった。そのため近接構造物の変状防止対策として、従来から行われているシールド掘進管理に加え、周辺地盤や近接構造物の挙動計測値を分析し、その結果をリアルタイムに施工に反映させる情報化施工システムの開発を行い、実施工に適用した。本稿は、今回開発したシールド情報化施工システムの概要を紹介するとともに、その施工実績について報告するものである。

2. 工事概要

-
- * 正会員 東京電力(株) 地中線建設所 次長
** 東京電力(株) 地中線建設所 土木課 副主任
*** 正会員 東京電力(株) 地中線建設所 銀座工事事務所 担当



本工事は亘長2.2km、セグメント外径5,200mmのトンネルを2つの工区に分け、2機の泥土圧式シールドにより施工したもので、平成5年4月に掘進を開始し、平成6年6月に全区間の掘進を完了している。

1 工区の発進立坑、および2 工区の到達立坑付近は埋没谷部に位置しており、地表面下20～23mまで沖積層が厚く堆積し、その下部は洪積の東京層および江戸川層となっている。それ以外の埋没台地部では、地表から3～5 mが埋土で、その下部には東京層および江戸川層が堆積している。工事概要および地質概要を図-1に示す。

3. 情報化施工システムの開発

本工事では、調査時点で得られた地盤データを用いて近接構造物に影響を与えない離隔を二次元FEM弾性解析により求め、それを確保するようなシールド線形を採用している。しかし、本工事に近接する構造物の重要性を勘案して、施工時に得られた新たなデータを基に構造物の安全確認を実施することを目的として本システムを開発した。

3・1 システムの検討

本システムの開発は、図-2に示すシステム
検討フローに基づき実施した。

(a) 計測対象構造物の抽出

本工事で近接する構造物のうち公共性・近接

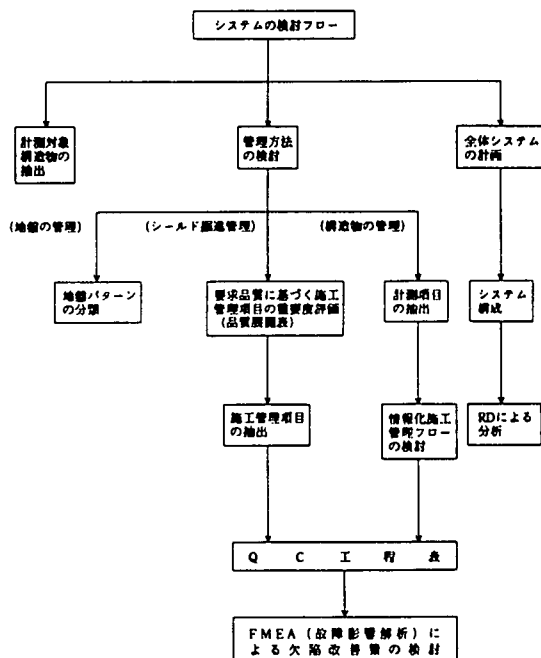


図-2 システム検討フロー

程度を考慮して14箇所を抽出し、本システムで管理することにした（表－1参照）。

(b) 管理方法の検討

シールド情報化施工の管理方法について以下のように検討を行った。

①地盤条件に基づき、シールド区間を同一構成とみなせる3区間に分割することとした。

②シールド掘進管理方法の検討はTQC手法を用い、品質展開表に基づく施工管理項目の重要度評価を行い、その中から重要度が高いもの、管理頻度の多いもの等の評価を行い、情報化施工に組み入れる管理項目を選定した。

③近接構造物の管理方法については、各構造物ごとに計測項目及び数量を設定し、管理値等を踏まえ図－3に示す情報化施工管理フローを設定した。

④シールド掘進および構造物の管理方法については、QCC工程表により各管理項目の管理基準、計測頻度等を設定し、FMEA（故障影響解析）により欠陥改善策の検討を行った。

表－1 計測対象構造物

計測対象構造物	近接形態	間隔(m)	計測対象構造物	近接形態	間隔(m)
①東武、NTT併設管路	直上横断	4.6	⑥NTTとう道	直下横断	14.5
②東武、下水併設管路	直下横断	4.8	⑦都営浅草線	直下横断	12.2
③地下道路	直下横断	2.7	⑧有明線線路	直下横断	14.9
④NTTとう道	直上横断	2.0	⑨有明丸の内線	直下横断	9.6
⑤有明日比谷線駅舎部	直下横断	13.6	⑩東海道新幹線高架橋	枕側方横断	10.0
⑥NTTとう道	直上横断	2.6	⑪JR在来線高架橋	直下横断	11.5
⑦有明高速道路	直下横断	20.7	⑫JR在来線(トンネル)	直上横断	3.6

3. 2 情報化施工システムの概要

情報化施工システムは図－4に示すように5種類のシステムから構成されている。以下にそれぞれのシステムの概要を述べる。

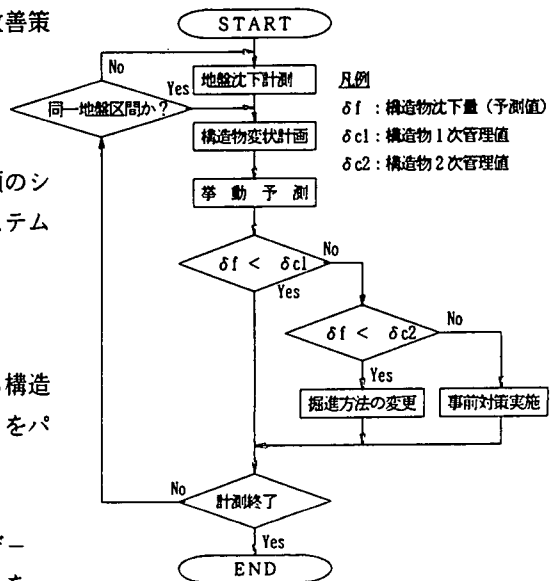
(1) ソフトウェア

(a) 一時保管システム

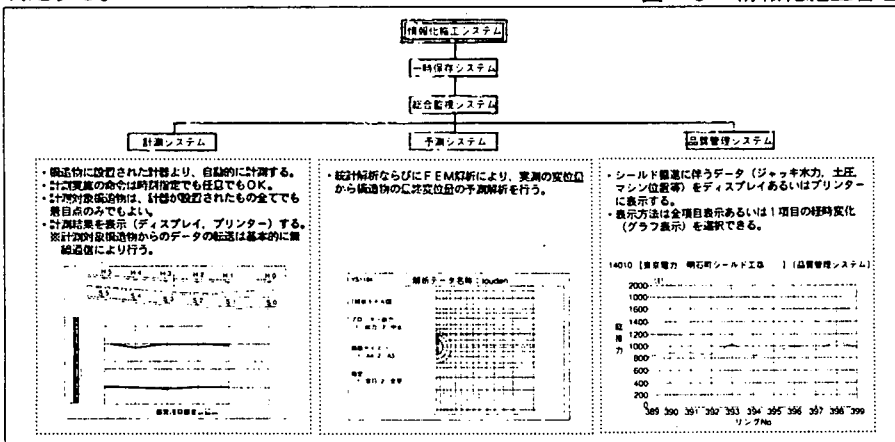
指定した測定間隔、または任意の時刻における構造物の挙動計測データ、並びにシールド掘進データをパソコン内のデータファイルに保存する。

(b) 総合監視システム

構造物の挙動計測データ並びにシールド掘進データを常時表示し、それぞれ管理基準値内であるかを判定する。



図－3 情報化施工管理フロー



図－4 情報化施工システム図

(c) 品質管理システム

シールド掘進データ並びにシールドトンネルの品質データを整理・分析し、経時変化図や掘進日報を出力する。

(d) 計測システム

近接構造物に設置した計器により、指定した時刻、または任意の時刻で計測を実行する。

(e) 予測システム

図-5に示す手順に基づき、得られた計測データを利用して次施工となる構造物の変位量を事前に予測する。なお、予測解析手法はシールド掘進地盤が洪積層

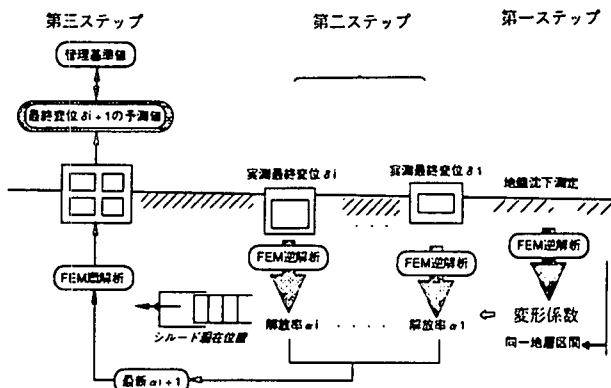


図-5 FEM解析による予測解析手順

であることから、二次元FEM弾性解析を用いている。まずシールド全区間を同一地層構成と見なせる3区間に分割し、各地盤区分の始点付近に設置した層別沈下計の地盤沈下計測データに基づき、地盤各層の変形係数を逆解析により算定する。さらに、その変形係数と近接構造物の計測データからシールド掘進に伴う応力解放率を逆解析により算定し、新たに求めた応力解放率を用いて、その後のシールドが通過する近接構造物の最終変位量を予測する。

(2) ハードウェア

ハードウェア構成は、各システムごとに設置したパソコンにおいてデータを処理等を行う。また、データ転送については、各近接構造物の計測地点から地上までは、有線にてデータを転送し、さらに無線モデムによるテレターミナル通信サービスを利用し、各現場計測室に転送することとした。さらにモデムによる公衆回線にて事務所にデータ転送する方法とした。

4 システムの運用

情報化施工システムの運用にあたっては、「日常管理」、「近接構造物管理」の2つの管理方法を実施した。

4・1 日常管理

シールドの掘進管理については、品質管理システムによりシールド掘進日報、品質管理項目の経時変化、近接構造物の変状計測値を出力し、管理値との比較・分析を行う。

4・2 近接構造物管理

(1) 層別沈下計の計測による地盤変形係数および応力解放率の算定

本工事区間を三つの地盤条件に区分し、各々の地盤条件の始点付近に層別沈下計を設置した。一例として図-6に有楽橋立坑付近に設置した直列多段式層別沈下計（層別沈下計N0.3）のうち、シールド直前に位置する測点の経時変化図を示す。沈下はシールド通過中並びにテール通過直後に生じており、即時沈下が支配的であり、後続沈下はほとんど生じていない。

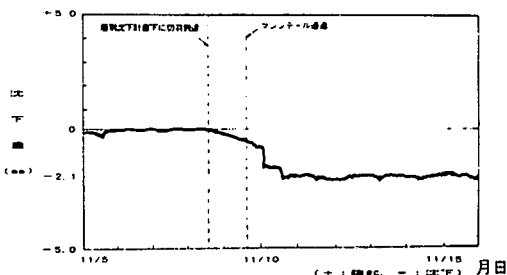


図-6 層別沈下計N0.3の経時変化図

このシールド通過に伴う層別沈下計の計測値から、各層の地盤変形係数を求めることを目的として逆解析を行った。逆解析は、まず各層の地盤物性値と任意に設定した応力解放率を初期値として与え、予測システムの中で自動的に収束計算を行い、層別沈下計の各測点位置での実測沈下と解析沈下量との差が、最少となるような地盤変形係数を求める。この手順を繰り返し、解放率と変形係数の組合せを選定するものである。

層別沈下計No. 3の実測値を用い、表-2に示す値を初期値として計算した結果、応力解放率15%のときに実測値を最も良くシミュレートする結果となった。図-7に各層の変形係数と沈下量の解析値と実測値の比較を示す。

(2) 近接構造物の変位量予測

近接施工時の構造物の安全性の確認のために、近接する地下構造物にはその内側に、地上構造物には基礎付近にそれぞれに沈下計を設置した。また、これらの実測値はその後の近接構造物の変位予測に活用した。一例として図-8に⑬JR東海道新幹線、⑬JR在来線の地上基礎付近に設置した水盛式沈下計の設置位置を示す。また、表-3に変位量の予測解析結果と実測値の比較、およびそれをシミュレートしたときの解放率の比較を示す。予測解析結果は実測値と良く一致しており、また管理目標値(±5mm)以内に施工することが出来た。

以上、情報化施工システムによる近接構造物の安全性の検証方法を、JR線下通過時の例を挙げて説明したが、表-4に本工事における近接施工結果をまとめて示す。情報化施工システムを用いて求めた予測変位量と実測変位量は、計測の精度を考えると良く一致しており、本システムの実用性が検証された。

一方、実測変位量から求めた応力解放率は、構造物の直下横断時の直線区間では、5～6%程度であるのに対し、急曲線区間では14～17%となった。また、構造物の直上横断時の応力解放率は2～3%となった。これより、事前の影響検討において直線区間と曲線区間並びに構造物の直下横断と直上横断では、応力解放率を区別して検討する必要があることがわかった。

5 おわりに

今回、本システムをシールド工事の近接施工管理に適用し、近接構造物に影響を与えることなく施工を推進することができた。さらに本システムを一層汎用性があるものにするため、以下に示す項目について検討を進めていきたい。

- ①無線によるデータ転送に伴うデータ欠落の原因を追求する。

表-2 調査時に得られた地盤物性値

土 質	単位体積重量 (t/m^3)	変形係数 (t/m^3)
Bs (埋土)	1.70	2500
Ds1 (中砂)	1.82	1600
Ds1 (細砂)	1.82	4300
Dg (砂礫)	2.00	6000
Dc2 (細砂質シルト)	1.88	8800

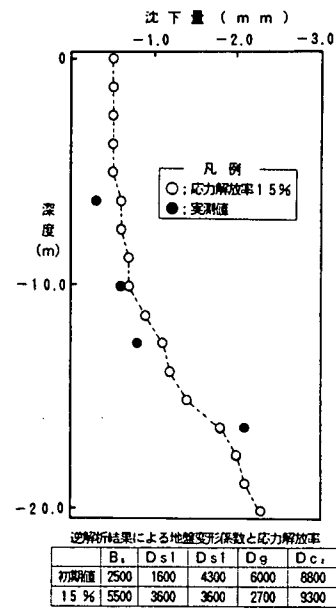


図-7 沈下量の解析値と実測値との比較

表-3 予測解析結果と実測値との比較

(変位量は沈下がマイナス)					
計測点	予 測 解 析		逆 解 析		予測解析に採用した 応力解放率の設定根拠
	応力解放率(%)	予測変位量(mm)	実測値(mm)	応力解放率(%)	
No44	15	-1.7	-1.9	17	層別沈下計No.3の計測結果から15%を採用
No16	17	-2.5	-2.1	14	計測点No44の計測結果から17%を採用
No19	17	-2.5	-2.5	17	同 上

②シールドのテールおよびフェイス等の位置と層別沈下計および計測対象となる構造物との離れを経時的に表示するシステムを導入することによって、さらに汎用性の拡大を図る。

③実績を重ねデータを蓄積しシールド掘進方法の予測解析への反映をはかり、近接構造物の形態・離隔等の近接関係の違いによる応力解放率の区別化を図り解析方針を固める。

④弾性解析だけでなく、後続沈下が卓越する様な軟弱地盤への適用を図り汎用性の拡大を図る。

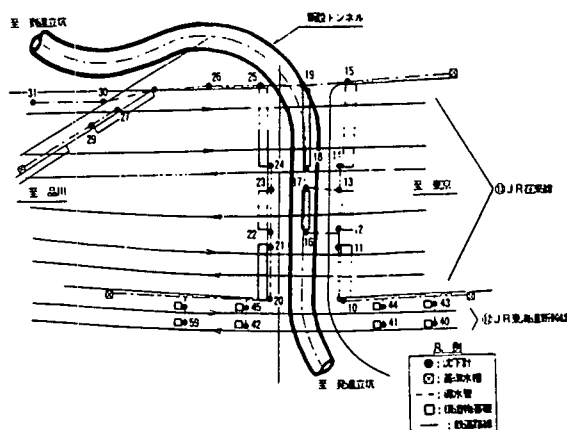


図-8 有楽町付近の沈下計設置位置図

最後に、本システムの開発にあたりご尽力頂いた関係各位に感謝の意を表するものである。

表-4 情報化施工結果

近接構造物名 (構造物形態)	近 接 関 係		掘 進 方 法		予 測 解 析			実測値	逆 解 析	予 測 解 析 に 採 用 し た 応 力 解 放 率 の 設 定 根 拠
	形 態	平 面 面 積 傾 斜 傾 斜 傾 斜 (m) (m/day) (								